



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 14 382 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 60 T 8/44**  
B 60 T 13/66  
B 60 T 8/18

②1 Aktenzeichen: 195 14 382.5  
②2 Anmeldetag: 19. 4. 95  
④3 Offenlegungstag: 24. 10. 98

DE 195 14 382 A 1

⑦1 Anmelder:  
ITT Automotive Europe GmbH, 60488 Frankfurt, DE

⑦2 Erfinder:  
Eckert, Alfred, 55294 Bodenheim, DE

⑥6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

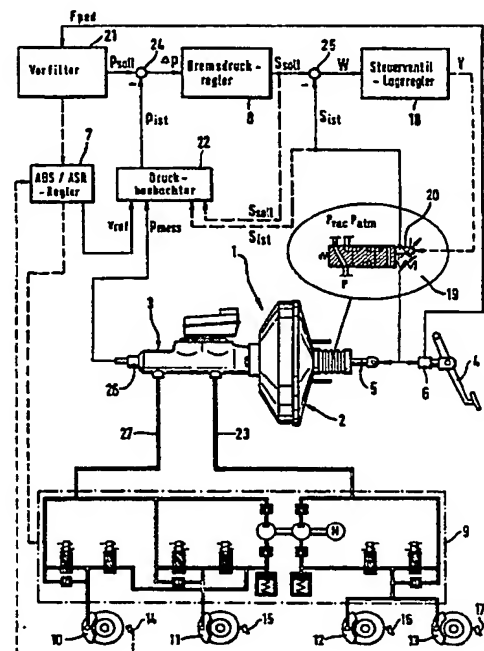
DE 43 29 139 C1  
DE 35 45 676 C2  
DE 44 43 373 A1  
DE 44 10 339 A1  
DE 43 24 205 A1  
=WO 95 03 196 A1  
DE 41 12 845 A1  
DE 41 02 496 A1  
DE 38 44 068 A1  
DE 35 11 579 A1  
DE 33 25 854 A1

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

⑥4 Bremsanlage für Kraftfahrzeuge

⑤7 Es wird eine Bremsanlage für Kraftfahrzeuge vorgeschlagen, die einen regelbaren pneumatischen Bremskraftverstärker aufweist, dessen Steuerventil unabhängig vom Fahrerwillen durch einen Elektromagneten betätigbar ist. Eine aus einem Bremsdruckregler sowie einem Steuerventil-Lageregler bestehende Regelstruktur erzeugt Signale, die die dem Elektromagneten zuzuführende elektrische Spannung repräsentieren.

Um die Bremsanlage zum Zweck einer betätigungskraftproportionalen Verzögerungsregelung verwenden zu können, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß eine Einrichtung (8) zum Erzeugen eines Signals ( $F_{ped}$ ) vorgesehen ist, das eine am Betätigpedal (4) wirkende Betätigungskraft repräsentiert und das als Eingangsgröße einem Vorfilter (21) zugeführt wird, das ein dynamisches Modell der Betätigungseinheit (1) enthält und dessen Ausgangsgröße ( $p_{soll}$ ) dem Soll-Bremsdruck entspricht, und daß ein Druckbeobachter (22) vorgesehen ist, dem als Eingangsgröße ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal ( $v_{ref}$ ) zugeführt wird, der ein dynamisches Modell der an die Betätigungseinheit (1) angeschlossenen Teile der Bremsanlage sowie des Fahrzeugverhaltens enthält und dessen Ausgangsgröße einen geschätzten Ist-Bremsdruckwert ( $p_{ist}$ ) darstellt, der zur Bildung der dem Bremsdruckregler (8) zuzuführenden Regeldifferenz ( $\Delta p$ ) von dem Soll-Bremsdruck subtrahiert wird.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 98 602 043/110

19/28

DE 195 14 382 A 1

Die Erfindung betrifft eine Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer mittels eines Betätigpedals betätigbaren Betätigungseinheit, die aus einem pneumatischen Bremskraftverstärker sowie einem Hauptbremszylinder besteht, an den Radbremsen angeschlossen sind, wobei das Steuerventil des Bremskraftverstärkers unabhängig vom Fahrerwillen mittels eines Elektromagneten ansteuerbar ist, durch dessen Anker einer der Steuerventil-Dichtsitze betätigbar ist, mit einem Bremsdruckregler, dem eine Regeldifferenz aus einem Soll-Bremsdruck und einem Ist-Bremsdruck zugeführt und von dessen einem Soll-Ankerweg entsprechender Ausgangsgröße ein einem Ist-Ankerweg entsprechendes Signal subtrahiert wird und wobei die so entstehende zweite Regeldifferenz einem die Position des Steuerventils beeinflussenden Lageregler zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße einem dem Elektromagneten zuzuführenden elektrischen Strom entspricht.

Eine derartige Bremsanlage ist aus der internationalen Patentanmeldung WO 95/03196 bekannt. Der erwähnten Druckschrift sind jedoch keine konkreten Hinweise zu entnehmen, wie die darin beschriebene Bremsanlage zum Zweck einer betätigungskraftproportionalen Verzögerungsregelung verwendet werden könnte.

Durch die DE 33 25 854 C2 ist ein Bremsregler zum Regeln einer Fahrzeugbremsanlage bekannt geworden, der mit einem unabhängig vom Fahrerwillen vorzugsweise elektrisch ansteuerbaren Bremskraftverstärker zusammenwirkt. Die erwähnte elektrische Ansteuerung erfolgt mittels eines außerhalb des Bremskraftverstärkers angeordneten Regelventils, das einen im Verstärkergehäuse einsteuerbaren pneumatischen Differenzdruck beeinflusst und dem Steuersignale einer Datenverarbeitungsanlage zugeführt werden, die als Eingangssgrößen Signale zweier Sensoranordnungen verarbeitet. Die erste Sensoranordnung besteht aus einem Geschwindigkeitssensor, dessen Signale differenziert werden, um die Fahrzeugverzögerung zu ermitteln. Die zweite Sensoranordnung wird durch einen Kraftsensor gebildet, der der Ermittlung der an einem Betätigpedal wirkenden Betätigungskraft dient. Die zweite Sensoranordnung kann wahlweise durch eine dritte Sensoranordnung ersetzt werden, die die Ausgangskraft des Bremskraftverstärkers ermittelt, der ein in einem dem Bremskraftverstärker nachgeschalteten Hauptbremszylinder entstehender hydraulischer Druck bzw. Bremsdruck proportional ist. Die Datenverarbeitungsanlage enthält statische Kennlinien, aus denen Sollwerte der Verzögerung ermittelt werden.

Weniger vorteilhaft anzusehen sind bei dem vorbekannten Regler die bei schneller Fahrerbetätigung entstehenden Fehler in der Regelung, die durch die Verwendung der statischen Kennlinien verursacht werden und die dem natürlichen Sollverhalten der Bremsen nicht entsprechen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Maßnahmen vorzuschlagen, die bei der gattungsbildenden Bremsanlage ein einwandfreies Nachregeln sowohl langsamer, als auch schneller Betätigungsvorgänge ermöglichen. Außerdem soll die angestrebte Fahrzeugverzögerung unabhängig von Einflüssen schnell erreicht werden, die zu einer Verringerung der Verzögerung führen, wie z. B. zusätzliche Beladung des Fahrzeuges, Anhängerbetrieb, Fading/Reibwertverlust oder Hangabtriebskraft bei Talfahrt.

Eine erste Lösung der der Erfindung zugrundeliegen-

den Aufgabe besteht darin, daß eine Einrichtung zum Erzeugen eines Signals vorgesehen ist, das eine am Betätigpedal wirkende Betätigungskraft repräsentiert und das als Eingangsgröße einem Vorfilter zugeführt wird, das ein dynamisches Modell der Betätigungseinheit beinhaltet und dessen Ausgangsgröße dem Soll-Bremsdruck entspricht, und daß ein Druckbeobachter vorgesehen ist, dem als Eingangsgröße ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal zugeführt wird, der ein dynamisches Modell der an die Betätigungseinheit angeschlossenen Teile der Bremsanlage sowie des Fahrzeugverhaltens enthält und dessen Ausgangsgröße einen geschätzten Ist-Bremsdruckwert darstellt, der zur Bildung der Regeldifferenz von dem Soll-Bremsdruck subtrahiert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der ersten Lösung sind in den Unteransprüchen 2 bis 5 angegeben.

Nach einer zweiten Lösung der vorhin gestellten Aufgabe sind eine Einrichtung zum Erzeugen eines Signals, das eine am Betätigpedal wirkende Betätigungskraft repräsentiert, sowie ein Kraftbeobachter vorgesehen, dem als Eingangsgröße ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal zugeführt wird, der ein dynamisches Modell der Bremsanlage einschließlich der Betätigungseinheit sowie des Fahrzeugverhaltens enthält und dessen Ausgangsgröße eine geschätzte Ist-Betätigungskraft darstellt, die zur Bildung der einem um das dynamische Modell der Betätigungseinheit erweiterten Druckregler zuzuführenden Regeldifferenz von dem die Betätigungskraft repräsentierenden Signal subtrahiert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der zweiten Lösung sind den Unteransprüchen 7 bis 9 zu entnehmen.

Eine dritte Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe sieht eine Einrichtung zum Erzeugen eines Signals vor, das eine am Betätigpedal wirkende Betätigungskraft repräsentiert und das als Eingangsgröße einer dem Bremsdruckregler vorgeschalteten Regelstruktur zugeführt wird, deren zweite Eingangsgröße durch ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal gebildet wird und deren Ausgangsgröße dem Soll-Bremsdruck entspricht.

Vorteilhafte Weiterbildungen der dritten Lösung sind in den Unteransprüchen 11 und 12 aufgeführt.

Eine vierte Lösung der Aufgabe besteht schließlich darin, daß eine Einrichtung zum Erzeugen eines Signals vorgesehen ist, das eine am Betätigpedal wirkende Betätigungskraft repräsentiert und als Eingangsgröße einer dem Lageregler vorgeschalteten Regelstruktur zugeführt wird, deren zweite Eingangsgröße durch ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal gebildet wird und deren Ausgangsgröße dem Soll-Ankerweg entspricht.

Vorteilhafte Weiterbildungen der vierten Lösung sind aus den Unteransprüchen 14 bis 16 ersichtlich.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden Beschreibung von vier Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung hervor, in der für einander entsprechende Einzelteile bzw. Funktionsblöcke gleiche Bezugszeichen verwendet werden.

In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine erste Ausführung der erfindungsgemäßen Bremsanlage in schematischer Darstellung;

Fig. 2 die Steuergruppe des pneumatischen Bremskraftverstärkers nach Fig. 1 im Axialschnitt, teilweise weggebrochen;

Fig. 3 eine zweite Ausführung der erfindungsgemä-

Ben Bremsanlage in schematischer Darstellung;

Fig. 4 eine dritte Ausführung der erfindungsgemäßen Bremsanlage in schematischer Darstellung;

Fig. 5 eine vierte Ausführung der erfindungsgemäßen Bremsanlage in schematischer Darstellung.

Die in Fig. 1 gezeigte erfindungsgemäße Bremsanlage für Kraftfahrzeuge besteht im wesentlichen aus einer Betätigungseinheit 1, Radbremsen 10, 11, 12, 13, einem zwischen Radbremsen 10 bis 13 und Betätigungseinheit 1 angeordneten Druckmodulator 9 sowie einem ABS/ASR-Regler 7, der Steuersignale für den Druckmodulator 9 erzeugt. Jedem der nicht gezeigten Fahrzeugräder ist je ein Radsensor 14, 15, 16, 17, zugeordnet, dessen der Radgeschwindigkeit entsprechendes Steuersignal dem ABS/ASR-Regler 7 zugeführt wird, der ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal  $v_{ref}$  erzeugt. Die Betätigungseinheit 1 besteht ihrerseits aus einem mittels eines Betätigungspedals 4 betätigbaren pneumatischen Bremskraftverstärker, vorzugsweise einem Unterdruck-Bremskraftverstärker 2, dem ein Hauptbremszylinder 3, vorzugsweise ein Tandemhauptzylinder, nachgeschaltet ist, dessen nicht gezeigte Druckräume über hydraulische Leitungen 23, 27 mit dem Druckmodulator 9 in Verbindung stehen. An das Betätigungs pedal 4 ist eine Betätigungsstange 5 ange kuppelt, die eine Betätigung eines lediglich schematisch dargestellten Steuerventils 19 ermöglicht, das den Aufbau eines pneumatischen Differenzdruckes im Gehäuse des Unterdruck-Bremskraftverstärkers 2 steuert. Ein Elektromagnet 20 ermöglicht dabei eine Fremdbetätigung des Steuerventils 19. Eine auf das Betätigungs pedal 4 einwirkende Betätigungskraft wird mittels eines lediglich schematisch angedeuteten Kraftsensors 6 ermittelt. Um eine der Betätigungskraft ( $F_{ped}$ ) proportionale Verzögerungsregelung durchzuführen ist ein elektronischer Regler bzw. Bremsdruckregler 8 vorgesehen, dem eine in einem ersten Summierer 24 gebildete Regeldifferenz  $p$  zwischen einem Soll-Bremsdrucksignal  $p_{soll}$  und einem Ist-Bremsdrucksignal  $p_{ist}$  zugeführt wird.

Das Soll-Bremsdrucksignal  $p_{soll}$  wird von einem Vorfilter 21 erzeugt, dem als Eingangsgröße das die Betätigungskraft repräsentierende Signal  $F_{ped}$  zugeführt wird und das ein dynamisches Modell der Betätigungseinheit 1 bzw. eine im allgemeinen nicht lineare Charakteristik  $p_{soll}$  als Funktion von  $F_{ped}$  enthält. Das Ist-Bremsdrucksignal  $p_{ist}$  wird von einem Druckbeobachter 22 geliefert, dem als Eingangsgröße das die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierende Signal  $v_{ref}$  zugeführt wird und der ein dynamisches Modell sämtlicher an die Betätigungseinheit 1 angeschlossenen Teile der Bremsanlage sowie des Fahrzeugverhaltens enthält. Die beiden Charakteristiken werden bei der konstruktiven Auslegung der Bremsanlage festgelegt, können aber auch On-line mit der Zeit lernend nachgeführt werden, z. B. in Situationen, in denen die Regelung nicht aktiv ist. Um die Qualität des Regelungsprozesses zu erhöhen ist es sinnvoll, dem Druckbeobachter 22 als zweite Eingangsgröße ein Signal  $p_{mess}$  zuzuführen, das von einem den hydraulischen Druck im Hauptbremszylinder 3 erfassenden Drucksensor 26 geliefert wird. Alternativ kann dem Druckbeobachter 22 als zweite Eingangsgröße das Ausgangssignal  $S_{soll}$  des Bremsdruckreglers 8 zugeführt werden, das der gewünschten einzustellenden Lage bzw. Position des Ankers des das Steuerventil 19 betätigenden Elektromagneten 20 entspricht. Vom Soll-Ankerweg  $S_{soll}$  wird in einem zweiten Summierer 25 ein am Steuerventil 19, beispielsweise mittels eines nicht gezeigten Wegsensors, ermittelbarer Steuerventilposi-

tion- bzw. Ist Ankerweg  $S_{ist}$  subtrahiert und die so entstehende Regeldifferenz  $w$  wird einem unterlagerten zweiten Regler bzw. Steuerventil-Lageregler 18 zugeführt, dessen Stellgröße  $Y$  der Ansteuerung des Elektromagneten 20 dient. Das dem Ist-Ankerweg entsprechende Signal  $S_{ist}$  kann anstelle des Signals  $S_{soll}$  als zweite Eingangsgröße dem Druckbeobachter 22 zur Verfügung gestellt werden.

Wie insbesondere Fig. 2 zeigt, ist das Steuerventil 19 in einer im Gehäuse des Bremskraftverstärkers 2 abgedichtet geführten Steuergehäuse 40 untergebracht und besteht aus einem am Steuergehäuse 40 ausgebildeten ersten Dichtsitz 41, einem an einem mit der Betätigungsstange 5 verbundenen Ventilkolben 42 ausgebildeten zweiten Dichtsitz 43 sowie einem mit beiden Dichtsitzen 41, 43 zusammenwirkenden Ventilkörper 44.

Um eine von der Betätigungsstange 5 unabhängige Fremdbetätigung des Bremskraftverstärkers 2 einzuleiten, ist radial zwischen dem ersten (41) und dem zweiten Dichtsitz 43 ein dritter Dichtsitz 28 vorgesehen, der mittels des Elektromagneten 20 betätigbar ist, der vorzugsweise in einem durch eine axiale topfförmige Verlängerung des Ventilkolbens 42 gebildeten Gehäuse 37 angeordnet und demnach zusammen mit dem Ventilkolben 42 im Steuergehäuse 40 verschiebbar ist.

Der Elektromagnet 20 besteht aus einer auf einem innerhalb des Gehäuses 37 befestigten Führungsteil 38 aufgesteckten Spule 46 sowie einem darin verschiebbar angeordneten zylindrischen Anker 39, der mit einem Stift 45 unlösbar verbunden ist, der einerseits im Führungsteil 38 und andererseits in einem das Gehäuse 37 verschließenden Verschluss teil 47 geführt wird. Eine dem Anker 39 am Führungsteil 38 axial gegenüberliegende ausgebildete Polfläche kann dabei vorzugsweise als Außenkonus ausgeführt sein, um eine Linearisierung der Kraft-Weg-Charakteristik des Elektromagneten 20 zu erreichen. An seinem der Betätigungsstange 5 zugewandten Ende trägt der Stift 45 eine Kraftübertragungsplatte 48, die vorzugsweise rechteckig ausgebildet und in einer Radialnut 49 des Ventilkolbens 42 angeordnet ist und die eine Übertragung der vom Elektromagneten 20 auf gebrachten Fremdbetätigungskraft auf den dritten Dichtsitz 28 ermöglicht. Der dritte Dichtsitz 28 ist zu diesem Zweck an einer im Steuergehäuse 40 abgedichtet geführten Hülse 29 ausgebildet, die mit der Kraftübertragungsplatte 48 verbunden ist. Zwischen dem teilweise in das Verschluss teil 47 hineinragenden Anker 39 und dem Führungsteil 38 ist eine Druckfeder 51 angeordnet, die den Anker 39 in seiner Ausgangslage hält, in der der dritte Dichtsitz 28 gegenüber dem am Ventilkolben 42 ausgebildeten zweiten Dichtsitz 43 axial versetzt (s. Abstand  $b$ ) angeordnet ist.

Bei einer durch Bestromen der Spule 46 eingeleiteten Fremdbremse wird der Anker 39 entgegen der Kraft der Druckfeder 51 in der Zeichnung nach rechts verschoben, wodurch der dritte Dichtsitz 28 zunächst nach Überbrückung des Abstandes " $b$ " an der Dichtfläche des Ventilkörpers 44 zur Anlage kommt. Durch diese Anlage wird der am Steuergehäuse 40 ausgebildete erste Dichtsitz 41 wirkungsmäßig überbrückt, so daß keine Verbindung zwischen den nicht gezeigten pneumatischen Kammern des Bremskraftverstärkers 2 mehr besteht. Anschließend bewegen sich der dritte Dichtsitz 28 und der Ventilkörper 44 zusammen weiter, wobei der zweite Dichtsitz 43 geöffnet und die belüftbare Kammer des Bremskraftverstärkers 2 belüftet wird. Die Bewegung des dritten Dichtsitzes 28 dauert so lange, bis der Anker 39 am Führungsteil 38 anschlägt und der Spalt " $s$ "

zwischen den beiden Teilen zu Null wird. Bei fehlender Betätigungskraft an der Betätigungsstange 5 läuft das Steuergehäuse 40 relativ zum Ventilkolben 42 um einen weg vor, der dem Abstand "a" zwischen einem die Bewegung des Ventilkolbens 42 begrenzenden Querglied 52 und einer am Steuergehäuse 40 ausgebildeten Anschlagfläche 53 entspricht. Ursache hierfür ist eine Kolbenstangenrückholfeder 54, die über die Betätigungsstange 5 den Ventilkolben 42 nach rechts bewegt und versucht, den zweiten Dichtsitz 43 wieder zu schließen. Da sich aber der dritte Dichtsitz 28 aufgrund der festen Verbindung von Elektromagnet 20 und Ventilkolben 42 synchron mitbewegt, wird der Spalt zwischen dem Ventilkörper 44 und dem zweiten Dichtsitz 43 offengehalten, und zwar um das Maß s-b. Hierdurch wird die belüftbare Kammer des Bremskraftverstärkers 2 mit der Atmosphäre verbunden und es wird eine Bremskraft erzeugt.

Nach einem Ausschalten des Elektromagneten 20 bewegt sich der Anker 39 mit dem dritten Dichtsitz 28 unter der Wirkung der Feder 51 nach links, wodurch der dritte Dichtsitz 28 geöffnet wird, während der Ventilkörper 44 den zweiten Dichtsitz 43 schließt. Da der erste Dichtsitz 41 — wie oben erwähnt — weiterhin offenbleibt, wird über die offene Verbindung zwischen den pneumatischen Kammern aus der belüftbaren Kammer die Atmosphäre abgesaugt, so daß der im Hauptbremszylinder 3 herrschende Druck abgebaut wird.

Über den offenen ersten Dichtsitz 41 wird die belüftbare Kammer solange entlüftet, bis die Steuergruppe in ihre Ausgangslage zurückkehrt und das Querglied 52 am Gehäuse des Bremskraftverstärkers 2 anschlägt. Das Steuergehäuse 40 kann sich solange bewegen, bis es auf der in der Zeichnung linken Seite des Querglieds 52 zur Anlage kommt und der erste Dichtsitz 41 geschlossen wird. Das Gerät ist dann in Lösestellung.

Ein Regelvorgang kann vereinfacht folgendermaßen dargestellt werden:

- Der Fahrer betätigt das Bremspedal 4 mit einer bestimmten Betätigungskraft  $F_{ped}$ .
- Aus der Betätigung resultiert ohne Reglereinwirkung ein bestimmter Bremsdruck  $p_{mess}$  und eine bestimmte Fahrzeugverzögerung  $v_{ref}$ .
- Wird auf Grund z. B. nachlassender Reibwirkung der Bremsbeläge die Verzögerung kleiner, so resultiert dies bei konstantem Wert von  $p_{mess}$  und verlangsamt Abfall von  $v_{ref}$  in einem kleineren, vom Druckbeobachter 22 geschätzten Wert  $p_{ist}$  (durch Beobachterfehler).
- Einen wert  $p_{ist}$ , der kleiner ist als  $p_{soll}$ , regelt die Regelstruktur durch entsprechende Fremdansteuerung des Bremskraftverstärkers 2 im Sinne einer Druckerhöhung solange aus, bis die Fahrzeugverzögerung im Verhältnis zum gemessenen erhöhten Bremsdruck dem im Druckbeobachter 22 abgelegten Modell entspricht.

Die Verzögerungsregelung arbeitet somit mittels Ausnutzung des Beobachterfehlers. Der beobachtete Bremsdruck  $p_{ist}$  und der gemessene Bremsdruck  $p_{mess}$  sind nur so lange identisch, wie Modell und Wirklichkeit übereinstimmen. Ändert sich das Verhalten des Bremsystems, so wird sich diese Änderung in einem geänderten Beobachtersignal (Änderung des  $p_{ist}$ ) niederschlagen. Durch eine Veränderung der Beobachterrückführung ist es möglich, den Grad der Korrektur und somit die Art des Bremseneingriffs zu beeinflussen. Störungen

der Meßsignale werden durch die Beobachtercharakteristik abgeschwächt.

Ein Vorteil dieser Ausführung liegt in der einfachen und durchgängigen Erstellung der Modelle, definiert durch den Konstruktionszustand des Fahrzeuges, und der einfachen und robusten Reglereinstellung (wenige Parameter). Auch werden Verzögerungen in der Regelstrecke durch entsprechende Modellformulierung implizit berücksichtigt und ausgeregelt.

Bei der Verwendung des den Soll-Ankerweg repräsentierenden Signals  $S_{soll}$  anstelle der Meßgröße  $p_{mess}$  ergibt sich eine Auslegung des Druckbeobachters 22 quasi als Kalman-Filter durch Fehlen der Eingangsinformation. Der Druckbeobachter 22 enthält zusätzlich noch ein Modell der Fremdbetätigung des Bremskraftverstärkers 2, insbesondere dessen Steuerventils 20. Diese Ergänzung hat eine zusätzlich stabilisierende Wirkung auf das Gesamtregelsystem, ähnlich wie eine direkte Druckmessung. Die Wirkung ähnelt der eines D-Anteils im Regler, aber ohne schwierige Rauschprobleme.

Bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführung der erfindungsgemäßen Bremsanlage wird einem Bremsdruckregler 30, der gegenüber dem in Fig. 1 dargestellten Bremsdruckregler 8 um das dynamische Modell der Betätigungseinheit 1 erweitert worden ist, als Eingangsgröße eine in einem Summierer 61 gebildete Regeldifferenz AF zwischen der mittels des Kraftsensors 6 ermittelten Soll-Betätigungskraft  $F_{ped}$  und einer Ist-Betätigungskraft zugeführt. Das der Ist-Betätigungskraft entsprechende Signal  $F_{ist}$  wird von einem Kraftbeobachter 31 geliefert, dem als Eingangsgröße das vorhin erwähnte Fahrzeuggeschwindigkeitssignal  $v_{ref}$  zugeführt wird und der ein dynamisches Modell der gesamten Bremsanlage sowie des Fahrzeugverhaltens enthält. Um die Qualität des Regelungsprozesses zu erhöhen ist es sinnvoll, dem Kraftbeobachter 31 als zweite Eingangsgröße das vorhin erwähnte Druckmess-Signal  $p_{mess}$  zuzuführen. Alternativ kann dem Kraftbeobachter 31 als zweite Eingangsgröße das Ausgangssignal  $S_{soll}$  des erweiterten Bremsdruckreglers 30 zugeführt werden, das der gewünschten einzustellenden Lage bzw. Position des Ankers des das Steuerventil 19 betätigenden Elektromagneten 20 entspricht. Anstelle des Ausgangssignals  $S_{soll}$  des erweiterten Bremsdruckreglers 30 kann als zweite Eingangsgröße dem Kraftbeobachter 31 das dem Ist-Ankerweg entsprechende Signal  $S_{ist}$  zur Verfügung gestellt werden.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Ausführung der Erfindung wird der vorhin erwähnte Soll-Bremsdruckwert  $p_{soll}$  in einer Regelstruktur 32 gebildet, der als Eingangsgrößen das Ausgangssignal  $F_{ped}$  des Kraftsensors 6 sowie das die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierende Signal  $v_{ref}$  des ABS/ASR-Reglers 7 zugeführt werden. Die Regelstruktur 32 besteht dabei vorzugsweise aus einem Vorfilter 33, einem Differenzierer 34, einem zweiten Vorfilter 35 sowie einem Beschleunigungsregler 36. Das erste Vorfilter bzw. Beschleunigungsvorfilter 33 ordnet dem ihm zugeführten Betätigungskraftsignal  $F_{ped}$  einen Soll-Beschleunigungswert  $\dot{v}_{soll}$  zu, von dem in einem Summierer 62 das Ausgangssignal  $\dot{v}_{refist}$  des Differenzierers 34 subtrahiert wird, das der Fahrzeug-Istbeschleunigung bzw. -verzögerung  $\dot{v}_{refist}$  entspricht. Das Ergebnis der erwähnten Subtraktion  $\Delta \dot{v}$  wird als Eingangsgröße dem Beschleunigungsregler 36 zugeführt, dessen Ausgangsgröße  $p_{soll1}$  in einem weiteren Summierer 63 zur Ausgangsgröße  $p_{soll2}$  des zweiten bzw. Druckvorfilters 35 hinzuaddiert wird, wobei das Addi-

tionsergebnis den im Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnten Soll-Bremsdruckwert  $p_{soll}$  darstellt. Der Aufbau des Druckvorfilters 35 ist mit dem des im Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnten Vorfilters 21 identisch.

Ein Regelvorgang kann vereinfacht folgendermaßen beschrieben werden:

— Der Fahrer betätigt das Bremspedal 4 mit einer bestimmten Betätigungskraft  $F_{ped}$ .

— Aus der Betätigung resultiert ohne Reglereinwirkung ein bestimmter Bremsdruck und eine bestimmte Fahrzeugverzögerung.

— Die Differenz  $\Delta v$  zwischen dem Ausgang des Beschleunigungsvorfilters 33 und der Ist-Verzögerung  $v_{refist}$  ist sehr klein und bewirkt kein Ausgangssignal des Beschleunigungsreglers 36. Hierdurch bleibt der zweite Druck Sollwert  $p_{soll2}$  aus dem Druckvorfilter 35 unbeeinflusst. Da sich das Verhalten der Bremsanlage nicht geändert hat, stimmen Soll- und Ist-Bremsdruck überein.

- Wird auf Grund z. B. nachlassender Reibwirkung der Bremsbeläge die Verzögerung kleiner, so resultiert dies bei konstantem Wert von  $p_{mess}$  und verlangsamt dem Abfall von  $v_{refin}$  einem positiven Ausgangssignal des Beschleunigungsreglers 36 und damit in einer Erhöhung des Soll-Bremsdruckes  $p_{soll}$ .

— Einen Wert  $p_{mess}$ , der kleiner ist als  $p_{soll}$ , regelt die Regelstruktur durch entsprechende Fremdsteuerung des Bremskraftverstärkers 2 im Sinne einer Druckerhöhung solange aus, bis die Fahrzeugverzögerung im Verhältnis zum gemessenen erhöhten Bremsdruck dem Verzögerungs-Sollwert  $v_{soll}$  entspricht.

Fig. 5 zeigt schließlich eine dem im Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnten Steuerventil-Lageregler 18 vorgeschaltete Regelstruktur 50, der als Eingangsgrößen das Ausgangssignal  $F_{ped}$  des Kraftsensors 6 sowie das die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierende Signal  $v_{ref}$  des ABS/ASR-Reglers 7 zugeführt werden. Die Regelstruktur 50 besteht dabei vorzugsweise aus einem Vorfilter 55, einem Differenzierer 56, einer Vorsteuerung 58 sowie einem Beschleunigungsregler 59. Das Vorfilter bzw. Beschleunigungsvorfilter 55 ordnet dem ihm zugeführten Betätigungskraftsignal  $F_{ped}$  einen Soll-Beschleunigungswert  $v_{soll}$  zu, von dem in einem Summierer 57 das Ausgangssignal  $v_{refist}$  des Differenzierers 56 subtrahiert wird, das der Fahrzeug-Istbeschleunigung bzw. -verzögerung  $v_{refist}$  entspricht. Das Ergebnis der erwähnten Subtraktion  $\Delta v$  wird als Eingangsgröße dem Beschleunigungsregler 59 zugeführt, dessen Ausgangsgröße  $p_{soll1}$  in einem weiteren Summierer 60 zur Ausgangsgröße  $p_{soll2}$  der Vorsteuerung 58 hinzuaddiert wird, wobei das Additionsergebnis den im Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnten Soll-Ankerweg  $S_{soll}$  darstellt. In dieser Ausführung stellt die Vorsteuerung 58, die bei Bedarf zu- und abgeschaltet werden kann, eine Folgefunktion bei sich ändernden Betätigungskräften dar, d. h. eine Vorsteuerung des Steuerventils 19 des Bremskraftverstärkers 2 bezogen auf zeitliche Änderungen der Betätigungskräfte.

Es ist jedoch auch denkbar, die Vorsteuerung 58 wegzulassen. In diesem Fall muß der Beschleunigungsregler 59 die Funktion der Vorsteuerung 58 durch geeignete Sollpositionen nachbilden.

- 1 Betätigungseinheit
- 2 Bremskraftverstärker
- 3 Hauptbremszylinder
- 4 Betätigungspedal
- 5 5 Betätigungsstange
- 6 Kraftsensor
- 7 ABS/ASR-Regler
- 8 Bremsdruckregler
- 9 Druckmodulator
- 10 10 Radbremse
- 11 Radbremse
- 12 Radbremse
- 13 Radbremse
- 14 Radsensor
- 15 15 Radsensor
- 16 Radsensor
- 17 Radsensor
- 18 Lageregler
- 19 Steuerventil
- 20 20 Elektromagnet
- 21 Vorfilter
- 22 Druckbeobachter
- 23 Leitung
- 24 Summierer
- 25 25 Summierer
- 26 Drucksensor
- 27 Leitung
- 28 Dichtsitz
- 29 Hülse
- 30 30 Summierer
- 31 Kraftbeobachter
- 32 Regelstruktur
- 33 Vorfilter
- 34 Differenzierer
- 35 35 Vorventil
- 36 Verzögerungsregler
- 37 Gehäuse
- 38 Führungsteil.
- 39 Anker
- 40 40 Steuergehäuse
- 41 Dichtsitz
- 42 Ventilkolben
- 43 Dichtsitz
- 44 Ventilkörper
- 45 45 Stift
- 46 Spule
- 47 Verschlußteil
- 48 Kraftübertragungsplatte
- 49 Radialnut
- 50 50 Regelstruktur
- 51 Feder
- 52 Querglied
- 53 Anschlagfläche
- 54 Kolbenstangenrückholfeder
- 55 55 Vorfilter
- 56 Differenzierer
- 57 Summierer
- 58 Vorfilter
- 59 Beschleunigungsregler
- 60 60 Summierer
- 61 Summierer

#### Patentansprüche

1. Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer mittels eines Betätigungspedals betätigbaren Betätigungseinheit, die aus einem pneumatischen Bremskraftverstärker sowie einem Hauptbremszylinder be-



steht, an den Radbremsen angeschlossen sind, wobei das Steuerventil des Bremskraftverstärkers unabhängig vom Fahrerwillen mittels eines Elektromagneten ansteuerbar ist, durch dessen Anker einer der Steuerventil-Dichtsitze betätigbar ist, mit einem Bremsdruckregler, dem eine Regeldifferenz aus einem Soll-Bremsdruck und einem Ist-Bremsdruck zugeführt und von dessen einem Soll-Ankerweg entsprechender Ausgangsgröße ein einem Ist-Ankerweg entsprechendes Signal subtrahiert wird und wobei die so entstehende zweite Regeldifferenz einem die Position des Steuerventils beeinflussenden Lageregler zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße einem dem Elektromagneten zuzuführenden elektrischen Strom entspricht, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (6) zum Erzeugen eines Signals ( $F_{ped}$ ) vorgesehen ist, das eine am Betätigungspedal (4) wirkende Betätigungskraft repräsentiert und das als Eingangsgröße einem Vorfilter (21) zugeführt wird, das ein dynamisches Modell der Betätigungseinheit (1) enthält und dessen Ausgangsgröße ( $p_{soll}$ ) dem Soll-Bremsdruck entspricht, und daß ein Druckbeobachter (22) vorgesehen ist, dem als Eingangsgröße ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal ( $v_{ref}$ ) zugeführt wird, der ein dynamisches Modell der an die Betätigungseinheit (1) angeschlossenen Teile der Bremsanlage sowie des Fahrzeugverhaltens enthält und dessen Ausgangsgröße einen geschätzten Ist-Bremsdruckwert ( $p_{ist}$ ) darstellt, der zur Bildung der Regeldifferenz ( $\Delta p$ ) von dem Soll-Bremsdruck subtrahiert wird.

2. Bremsanlage nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß dem Druckbeobachter (22) als zweite Eingangsgröße ein Signal ( $p_{mess}$ ) zugeführt wird, das dem in der Betätigungseinheit (1) eingesteuerten hydraulischen Druck entspricht.

3. Bremsanlage nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß dem Druckbeobachter (22) als zweite Eingangsgröße das den Soll-Ankerweg repräsentierende Signal ( $S_{soll}$ ) zugeführt wird.

4. Bremsanlage nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß dem Druckbeobachter (22) als zweite Eingangsgröße das den Ist-Ankerweg repräsentierende Signal ( $S_{ist}$ ) zugeführt wird.

5. Bremsanlage nach Anspruch 3 oder 4 dadurch gekennzeichnet, daß der Druckbeobachter (22) zusätzlich ein Modell der vom Fahrerwillen unabhängigen Betätigung des Steuerventils (19) des Bremskraftverstärkers (2) enthält.

6. Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer mittels eines Betätigungspedals betätigbaren Betätigungseinheit, die aus einem pneumatischen Bremskraftverstärker sowie einem Hauptbremszylinder besteht, an den Radbremsen angeschlossen sind, wobei das Steuerventil des Bremskraftverstärkers unabhängig vom Fahrerwillen mittels eines Elektromagneten ansteuerbar ist, durch dessen Anker einer der Steuerventil-Dichtsitze betätigbar ist, mit einem Bremsdruckregler, dem eine Regeldifferenz aus einem Soll-Bremsdruck und einem Ist-Bremsdruck zugeführt und von dessen einem Soll-Ankerweg entsprechender Ausgangsgröße ein einem Ist-Ankerweg entsprechendes Signal subtrahiert wird und wobei die so entstehende zweite Regeldifferenz einem die Position des Steuerventils beeinflussenden Lageregler zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße einem dem Elektromagneten zuzufüh-

renden elektrischen Strom entspricht dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (6) zum Erzeugen eines Signals ( $F_{ped}$ ) vorgesehen ist, das eine am Betätigungspedal (4) wirkende Betätigungskraft repräsentiert und daß ein Kraftbeobachter (31) vorgesehen ist, dem als Eingangsgröße ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal ( $v_{ref}$ ) zugeführt wird, der ein dynamisches Modell der Bremsanlage einschließlich der Betätigungseinheit (1) sowie des Fahrzeugverhaltens enthält und dessen Ausgangsgröße eine geschätzte Ist-Betätigungskraft ( $F_{ist}$ ) darstellt, die zur Bildung der einem um das dynamische Modell der Betätigungseinheit (1) erweiterten Druckregler (29) zuzuführenden Regeldifferenz ( $\Delta F$ ) von dem die Betätigungskraft repräsentierenden Signal ( $F_{ped}$ ) subtrahiert wird.

7. Bremsanlage nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß dem Kraftbeobachter (31) als zweite Eingangsgröße ein Signal ( $p_{mess}$ ) zugeführt wird, das dem in der Betätigungseinheit (1) eingesteuerten hydraulischen Druck entspricht.

8. Bremsanlage nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß dem Kraftbeobachter (31) als zweite Eingangsgröße das den Soll-Ankerweg repräsentierende Signal ( $S_{soll}$ ) zugeführt wird.

9. Bremsanlage nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß dem Kraftbeobachter (31) als zweite Eingangsgröße das den Ist-Ankerweg repräsentierende Signal ( $S_{ist}$ ) zugeführt wird.

10. Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer mittels eines Betätigungspedals betätigbaren Betätigungseinheit, die aus einem pneumatischen Bremskraftverstärker sowie einem Hauptbremszylinder besteht, an den Radbremsen angeschlossen sind, wobei das Steuerventil des Bremskraftverstärkers unabhängig vom Fahrerwillen mittels eines Elektromagneten ansteuerbar ist, durch dessen Anker einer der Steuerventil-Dichtsitze betätigbar ist, mit einem Bremsdruckregler, dem eine Regeldifferenz aus einem Soll-Bremsdruck und einem Ist-Bremsdruck zugeführt und von dessen einem Soll-Ankerweg entsprechender Ausgangsgröße ein einem Ist-Ankerweg entsprechendes Signal subtrahiert wird und wobei die so entstehende zweite Regeldifferenz einem die Position des Steuerventils beeinflussenden Lageregler zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße einem dem Elektromagneten zuzuführenden elektrischen Strom entspricht dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (6) zum Erzeugen eines Signals ( $F_{ped}$ ) vorgesehen ist, das eine am Betätigungspedal (4) wirkende Betätigungskraft repräsentiert und als Eingangsgröße einer dem Bremsdruckregler (8) vorgeschalteten Regelstruktur (32) zugeführt wird, deren zweite Eingangsgröße durch ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal ( $v_{ref}$ ) gebildet wird und deren Ausgangsgröße dem Soll-Bremsdruck ( $p_{soll}$ ) entspricht.

11. Bremsanlage nach Anspruch 10 dadurch gekennzeichnet, daß die Regelstruktur (32) aus einem Vorfilter (33), das dem Signal ( $F_{ped}$ ) einen Soll-Beschleunigungswert ( $\dot{v}_{soll}$ ) zuordnet, einem Differenzierer (34) zur zeitlich differenzierenden Verarbeitung des die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierenden Signals ( $v_{ref}$ ), dessen Ausgangsgröße von der Ausgangsgröße des Vorfilters (33) zur Bildung einer Regeldifferenz ( $\Delta \dot{v}_{soll}$ ) subtrahiert wird, die

einem dem Bremsdruckregler (8) vorgeschalteten Beschleunigungsregler (36) zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße dem dem Bremsdruckregler (8) zuzuführenden Soll-Bremsdruck ( $p_{soll}$ ) entspricht.

12. Bremsanlage nach Anspruch 11 dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsgröße ( $p_{soll1}$ ) des Beschleunigungsreglers (36) zu der Ausgangsgröße ( $p_{soll2}$ ) eines zweiten Vorfilters (35) hinzuaddiert wird, das ein dynamisches Modell der Betätigungseinheit (1) enthält und dem als Eingangsgröße das die Betätigungskraft repräsentierende Signal ( $F_{ped}$ ) zugeführt wird, wobei das Additionsergebnis dem dem Bremsdruckregler (8) zuzuführenden Soll-Bremsdruck ( $p_{soll}$ ) entspricht.

13. Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer mittels eines Betätigungspedals betätigbaren Betätigungseinheit, die aus einem pneumatischen Bremskraftverstärker sowie einem Hauptbremszylinder besteht, an den Radbremsen angeschlossen sind, wobei das Steuerventil des Bremskraftverstärkers unabhängig vom Fahrerwillen mittels eines Elektromagneten ansteuerbar ist, durch dessen Anker einer der Steuerventil-Dichsisitze betätigbar ist, mit einem Lageregler, dem eine Regeldifferenz aus einem Soll-Ankerweg und einem Ist-Ankerweg zugeführt wird, und dessen Ausgangsgröße einem dem Elektromagneten zuzuführenden elektrischen Strom entspricht, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (6) zum Erzeugen eines Signals ( $F_{ped}$ ) vorgesehen ist, das eine am Betätigungspedal (4) wirkende Betätigungskraft repräsentiert und das als Eingangsgröße einer dem Lageregler (18) vorgeschalteten Regelstruktur (50) zugeführt wird, deren zweite Eingangsgröße durch ein die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierendes Signal ( $v_{ref}$ ) gebildet wird und deren Ausgangsgröße dem Soll-Ankerweg ( $S_{soll}$ ) entspricht.

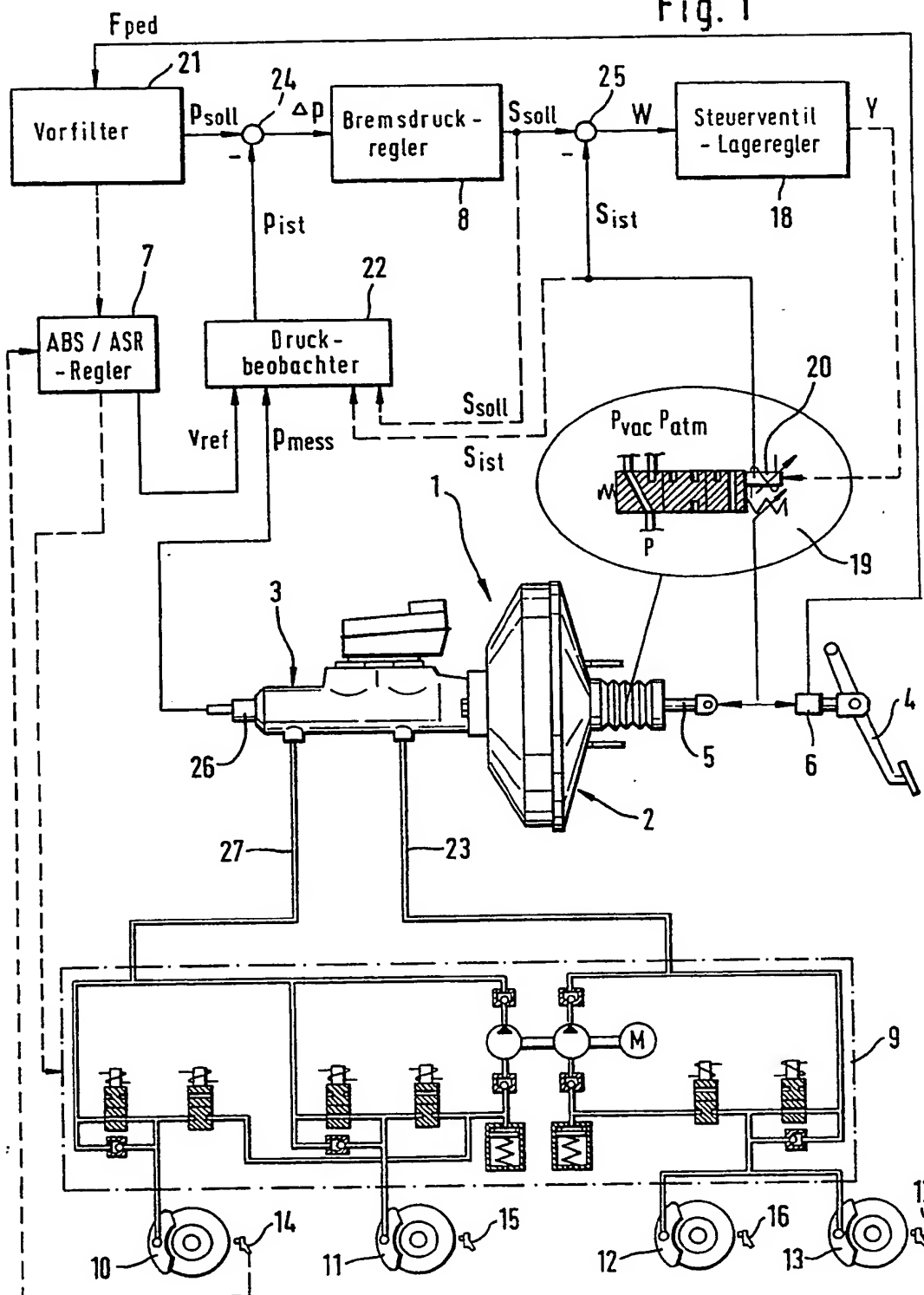
14. Bremsanlage nach Anspruch 13 dadurch gekennzeichnet, daß die Regelstruktur (50) ein Vorfilter (55), das dem Signal ( $F_{ped}$ ) einen Soll-Beschleunigungswert ( $\dot{v}_{soll}$ ) zuordnet, sowie einen Differenzierer (56) zur zeitlich differenzierenden Verarbeitung des die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentierenden Signals ( $v_{ref}$ ), aufweist, dessen Ausgangsgröße ( $\dot{v}_{refist}$ ) von der Ausgangsgröße des Vorfilters (55) zur Bildung einer Regeldifferenz ( $\Delta\dot{v}$ ) subtrahiert wird, die einem dem Lageregler (18) vorgeschalteten Beschleunigungsregler (59) zugeführt wird, dessen Ausgangsgröße dem Soll-Ankerweg ( $S_{soll}$ ) entspricht.

15. Bremsanlage nach Anspruch 14 dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsgröße ( $S_{soll1}$ ) des Beschleunigungsreglers (59) zu der Ausgangsgröße ( $S_{soll2}$ ) einer Vorsteuerung (58) zur Bildung eines dem Soll-Ankerweg entsprechenden Signals ( $S_{soll}$ ) hinzuaddiert wird, die eine Folgefunktion bei sich zeitlich ändernden Betätigungskräften enthält, und der als Eingangsgröße das die Betätigungskraft repräsentierende Signal ( $F_{ped}$ ) zugeführt wird.

16. Bremsanlage nach Anspruch 15 dadurch gekennzeichnet, daß die Vorsteuerung (42) abschaltbar ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1





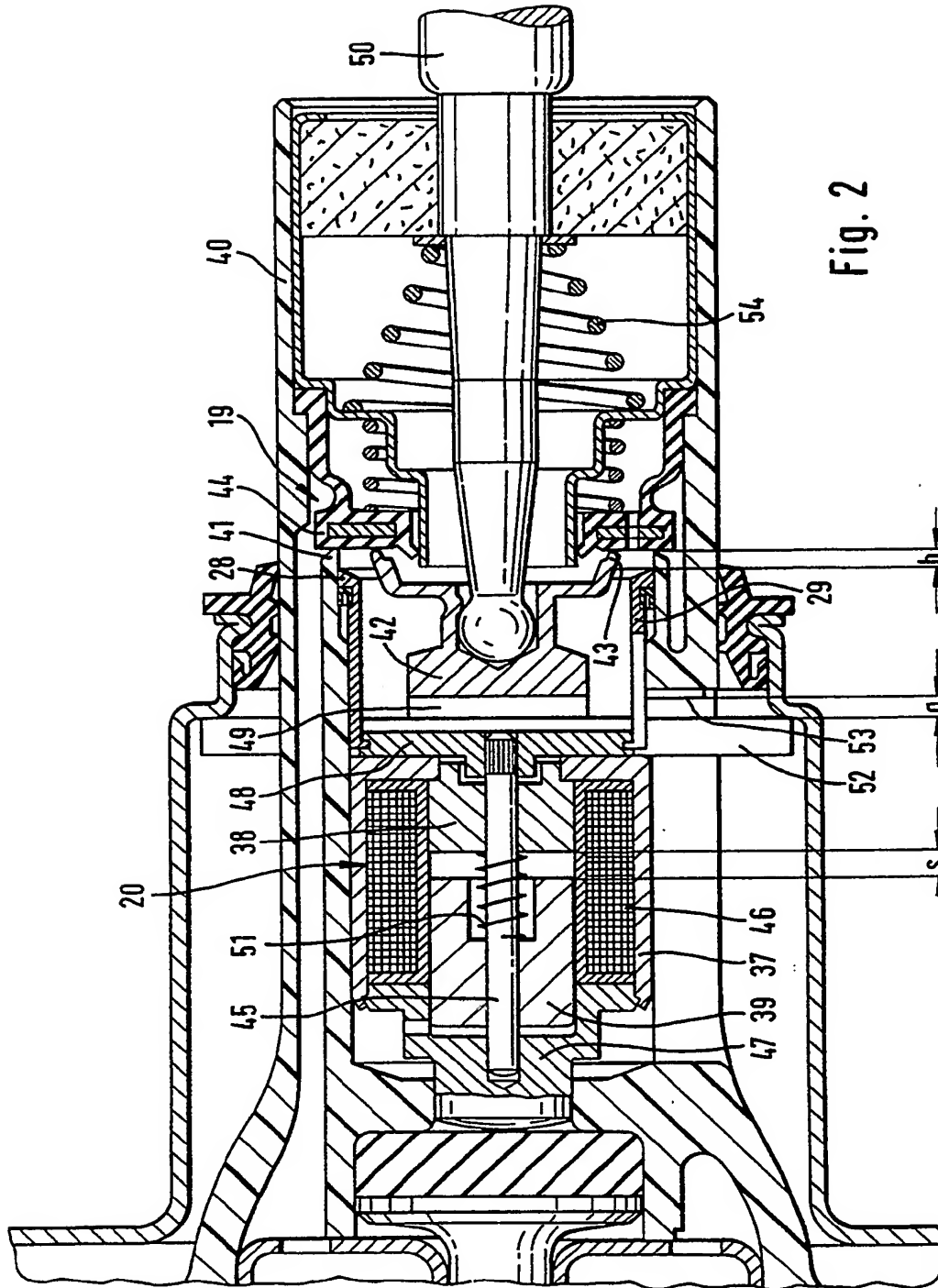
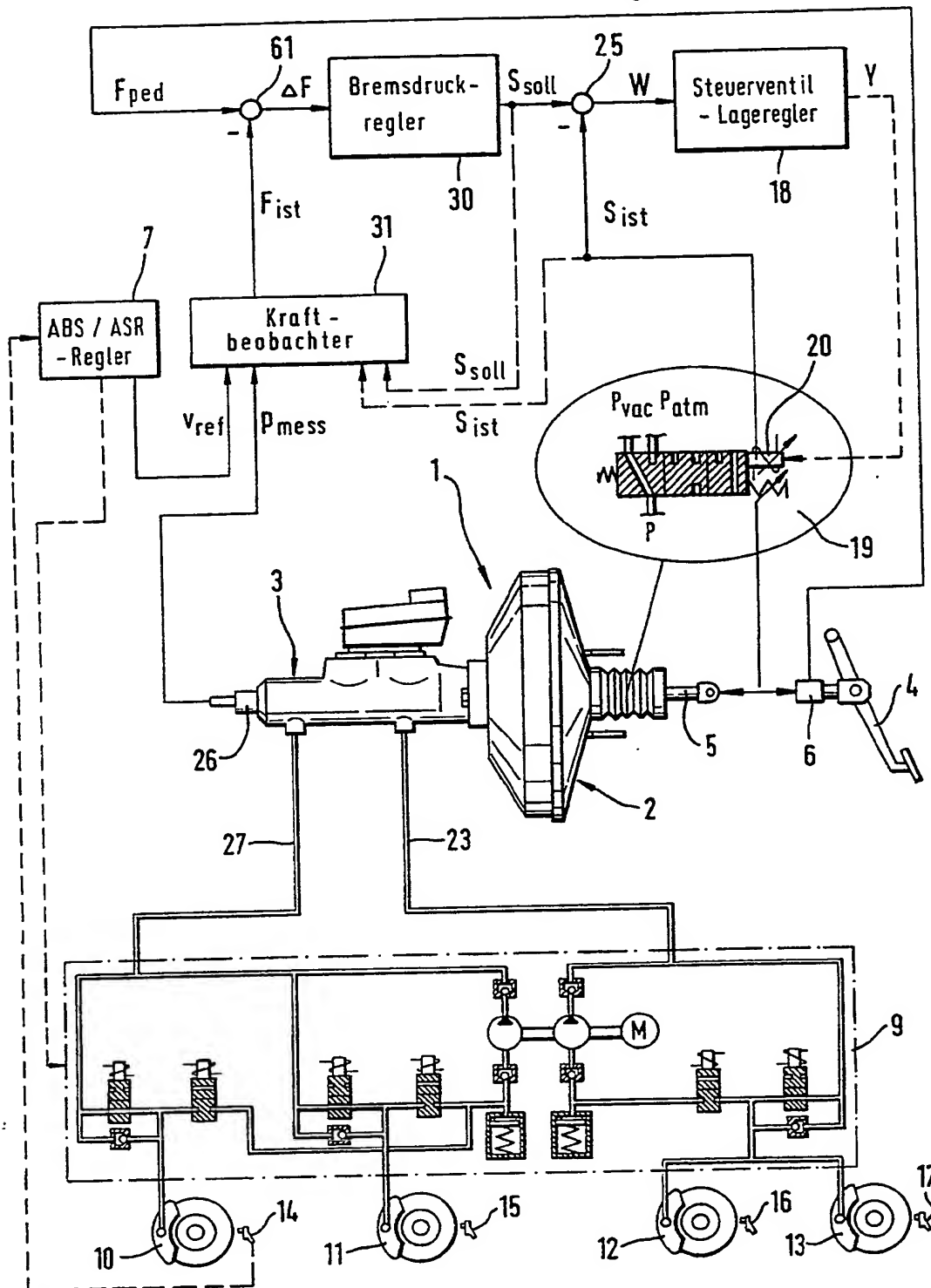


Fig. 3



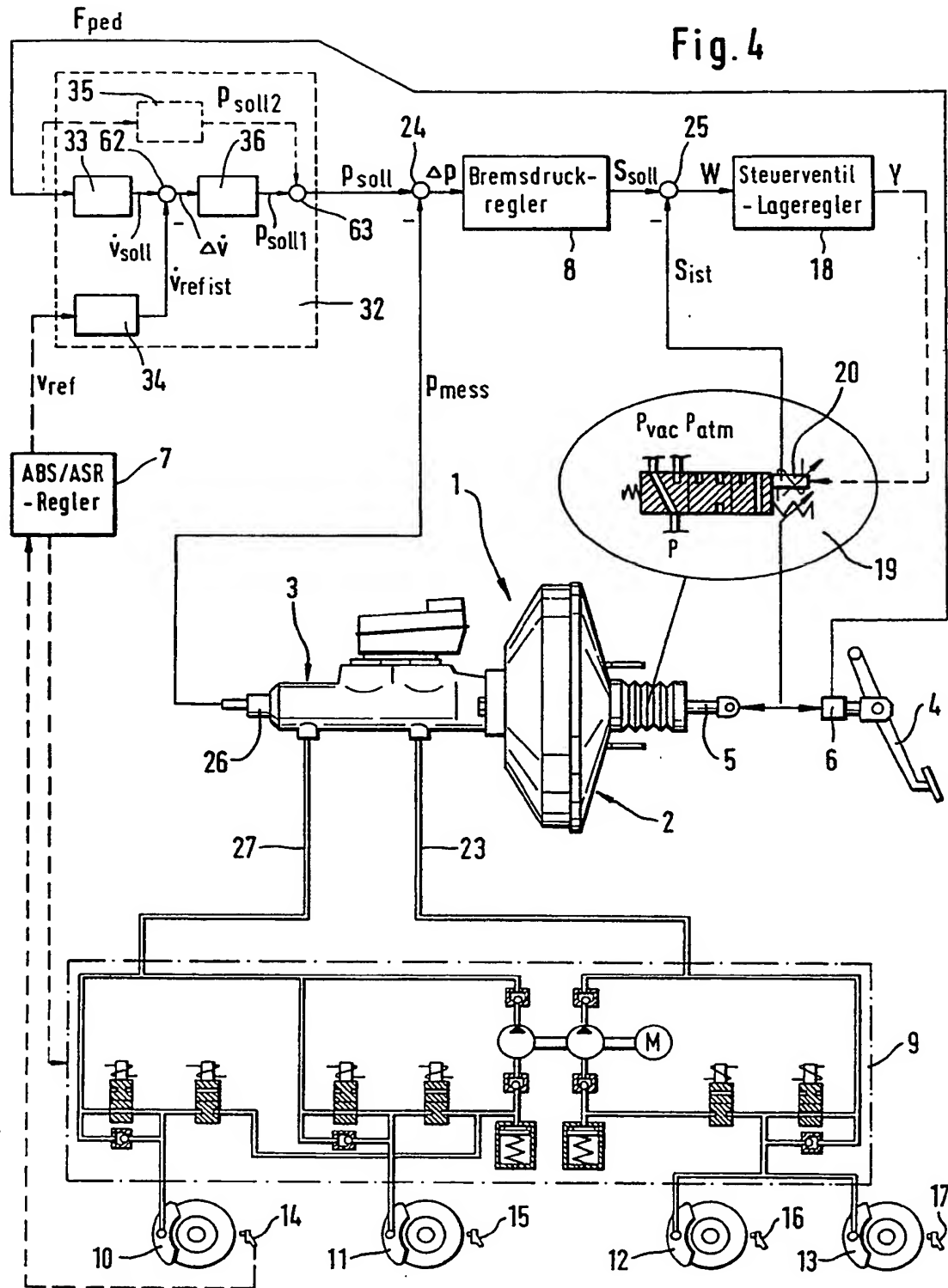


Fig. 5

